

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Supplementary Semester Examination  
Academic Session 2009/2010

June 2010

**IEK 212 – PROCESS HEAT TRANSFER**  
**[PEMINDAHAN HABA PROSES]**

Duration: 3 hours  
[Masa: 3 jam]

Please check that the examination paper consists of **ELEVEN** pages of printed material before you begin this examination.

Answer **FIVE** questions. All questions can be answered in Bahasa Malaysia OR English.

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEBELAS** muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

*Jawab **LIMA** soalan. Semua soalan boleh dijawab dalam Bahasa Malaysia ATAU Bahasa Inggeris.*

*Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].*

Answer any FIVE questions.

1. An organic liquid is flowing at 1.15 m/s through a 75-mm-ID steel pipe ( $k_m = 45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ). The thickness of the pipe is 5.5 mm. This liquid is being heated by steam condensing outside the pipe. The steam-film coefficient is  $15 \text{ kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . The temperature of the liquid at a certain location of the pipe is  $50^\circ\text{C}$  ( $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 2.1 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ ,  $k = 0.135 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $c_p = 2170 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ). Neglect the viscosity correction.
  - (a) What is the overall heat-transfer coefficient at this point based on the inside area of the pipe?
  - (b) If the steam temperature is  $120^\circ\text{C}$ , what is the heat flux at this point based on the outside area of the pipe?  
(100 marks)
  
2. Steam condenses on the outside surface of a pipe, maintaining an inside wall surface temperature of  $488.8 \text{ K}$ . Air flows inside the pipe, and is heated by means of forced convection. The pipe is 2 m long, with an inside diameter of 2.54 cm. The air velocity is 7.62 m/s, and its pressure is 206.8 kPa. If the mean bulk temperature of the air is  $477.6 \text{ K}$ , determine
  - (a) the coefficient of heat transfer
  - (b) the rate of heat transfer per unit area.

Given: For air at  $477.6 \text{ K}$  and  $206.8 \text{ kPa}$ ,  
 $\mu = 2.6 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$     $k = 0.03894 \text{ W/m} \cdot \text{K}$   
 $\text{Pr} = 0.686$     $\rho = 1.509 \text{ kg/m}^3$   
 At  $488.8 \text{ K}$ ,  $\mu_w = 2.64 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

(100 marks)
  
3. Water at a rate of  $18,000 \text{ kg/h}$  at  $20^\circ\text{C}$  flows through a rectangular duct of  $7.5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$  and is being heated to  $130^\circ\text{C}$ . The wall of the duct is maintained at  $150^\circ\text{C}$  throughout. The heat capacity and thermal conductivity of water can be taken as  $c_p = 4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$  and  $k = 0.673 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , respectively. Assuming  $L/D > 50$ , determine
  - (a) the heat-transfer coefficient;
  - (b) the required length of the duct.  
(100 marks)

4. Water at 15°C is flowing at 1.1 m/s at right angles across a heated 25-mm-OD tube. The surface temperature of the tube is maintained at 120°C.
- (a) What is the heat flux, in kW/m<sup>2</sup>, from the surface of the tube to the water?
- (b) What would be the heat flux if the tube were replaced by a 25-mm-OD sphere, also with a surface temperature of 120°C?

For water at 15°C,  $\rho = 999.2 \text{ kg/m}^3$

At a film temperature of  $T_f = (120 + 15)/2 = 67.5^\circ\text{C}$ ,

$\mu_f = 4.23 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$        $k_f = 0.661 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$        $c_p = 4.187 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$

For fluid flow normal to a single tube:

$$(h_o D_o / k_f) (c_p \mu_f / k_f)^{-0.3} = 0.35 + 0.56 (D_o G / \mu_f)^{0.52}$$

For fluid flow past single spheres:

$$h_o D_p / k_f = 2.0 + 0.60 (D_p G / \mu_f)^{0.50} (c_p \mu_f / k_f)^{1/3}$$

(100 marks)

5. An organic solution is to be concentrated from 9 to 45% solids in a single-effect evaporator. Saturated steam is available at 120.5°C. A pressure of 102 mm Hg is to be maintained in the vapor space, corresponding to a boiling temperature of 51.7°C. The feed rate to the evaporator is 20,000 kg/h. The overall heat-transfer coefficient can be taken as 2,800 W/m<sup>2</sup>.°C. The solution has a negligible boiling-point elevation and a negligible heat of dilution. Calculate the steam consumption, the economy, and the heating surface required if the feed is at 51.7°C. The heat capacity of the feed solution is 3.77 kJ/kg.°C.  $\lambda = 2379 \text{ kJ/kg}$ ,  $\lambda_s = 2200 \text{ kJ/kg}$

$$q = m_s \lambda_s = (m_f - m) \lambda + m_f c_{pf} (T - T_f)$$

(100 marks)

6. An organic liquid flowing at 4,500 kg/h is cooled from 105 to 78°C in a double-pipe heat exchanger with a total outside area of 6.50 m<sup>2</sup>. A cooling liquid flowing at a rate of 4,000 kg/h at 35°C is available. The exchanger consists of an inner pipe of 3.50 cm ID of 0.36 cm thick and an outer pipe of 5.25 cm ID.
- (a) If the flow is countercurrent, what are the outlet temperature of the cooling liquid, the LMTD, and the overall heat-transfer coefficient?
  - (b) What are they if flow is parallel?
  - (c) Draw the temperature profiles of both countercurrent and parallel flow. The heat capacity of the organic liquid is 2.280 kJ/kg.°C, that of the cooling liquid is 1.841 kJ/kg.°C.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

(100 marks)

Jawab sebarang LIMA soalan.

1. Satu cecair organik mengalir pada 1.15 m/s menerusi satu paip keluli yang berdiameter dalaman 75 mm ( $k_m = 45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Ketebalan paip ialah 5.5 mm. Cecair ini dipanaskan dengan stim yang mengkondensasi di luar paip. Pekali lapisan-stim ialah  $15 \text{ kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Di lokasi tertentu paip suhu cecair ialah  $50^\circ\text{C}$  ( $\rho = 880 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 2.1 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ ,  $k = 0.135 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ,  $c_p = 2170 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ). Abaikan pembetulan kelikatan.
  - (a) Apakah pekali pemindahan haba keseluruhan pada lokasi ini berdasarkan luas dalaman paip?
  - (b) Jika suhu stim ialah  $120^\circ\text{C}$ , apakah fluks haba di lokasi ini berdasarkan luas luaran paip?

(100 markah)

2. Stim mengkondensasi di permukaan luar satu paip supaya suhu permukaan dinding dalaman dikekalkan pada 488.8 K. Udara mengalir di dalam paip dan dipanaskan melalui perolakan paksa. Panjang paip ialah 2 m, dan diameter paip 2.54 cm. Halaju udara ialah 7.62 m/s, dan tekanannya ialah 206.8 kPa. Jika suhu udara purata ialah 477.6 K, tentukan
  - (a) pekali pemindahan haba;
  - (b) kadar pemindahan haba seunit luas.

Diberi: Untuk udara pada 477.6 K dan 206.8 kPa,

$$\mu = 2.6 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} \quad k = 0.03894 \text{ W/m.K}$$

$$\text{Pr} = 0.686 \quad \rho = 1.509 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pada } 488.8 \text{ K, } \mu_w = 2.64 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

(100 markah)

3. Air pada kadar 18,000 kg/h pada suhu  $20^\circ\text{C}$  mengalir menerusi satu saluran segiempat tepat 7.5 cm x 4 cm dan dipanaskan hingga  $130^\circ\text{C}$ . Suhu dinding seluruh saluran itu dikekalkan pada  $150^\circ\text{C}$ . Muatan haba dan kekonduktifan terma air ialah masing-masing  $c_p = 4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C}$  dan  $k = 0.673 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Anggapkan  $L/D > 50$ , tentukan
  - (a) pekali pemindahan haba;
  - (b) panjang saluran yang dikehendaki.

(100 markah)

4. Air pada 15°C mengalir pada 1.1 m/s secara tegaklurus menyeberangi satu tiub terpanas yang mempunyai diameter luaran 25 mm. Suhu permukaan tiub dikekalkan pada 120°C.
- (a) Apakah fluks haba, dalam unit kW/m<sup>2</sup>, dari permukaan tiub ke air?
- (b) Jika tiub tersebut digantikan dengan satu sfera yang berdiameter luaran 25 mm dan suhu permukaan 120°C, apakah fluks haba itu akan menjadi?

Untuk air pada 15°C,  $\rho = 999.2 \text{ kg/m}^3$

Pada suhu filem  $T_f = (120 + 15)/2 = 67.5^\circ\text{C}$ ,

$\mu_f = 4.23 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$        $k_f = 0.661 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$        $c_p = 4.187 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$

Untuk cecair yang mengalir secara tegaklurus dengan tiub tunggal:

$$(h_o D_o / k_f)(c_p \mu_f / k_f)^{-0.3} = 0.35 + 0.56(D_o G / \mu_f)^{0.52}$$

Untuk aliran bendalir melewati sfera tunggal:

$$h_o D_p / k_f = 2.0 + 0.60(D_p G / \mu_f)^{0.50}(c_p \mu_f / k_f)^{1/3}$$

(100 markah)

5. Satu larutan organik akan dipisahkan dari 9 hingga 45% pepejal di dalam satu penyejat kesan-tunggal. Stim tepu yang digunakan ialah pada 120.5°C. Tekanan 102 mm Hg dikekalkan di dalam ruang wap yang sepadan dengan suhu 51.7°C. Kadar suap ke dalam penyejat ialah 20,000 kg/h. Pekali pemindahan haba keseluruhan ialah 2,800 W/m<sup>2</sup>.°C. Kenaikan takat didih dan haba pencairan boleh diabaikan. Hitungkan keperluan stim, ekonomi, dan luas permukaan pemanasan yang dikehendaki jika suap adalah pada 51.7°C. Muatan haba untuk larutan suap ialah 3.77 kJ/kg.°C.

$$\lambda = 2379 \text{ kJ/kg}, \quad \lambda_s = 2200 \text{ kJ/kg}$$

$$q = m_s \lambda_s = (m_f - m) \lambda + m_f c_{pf}(T - T_f)$$

(100 markah)

6. Satu cecair organik yang mengalir pada 4,500 kg/h disejukkan dari 105 hingga 78°C di dalam satu penukar haba dwipaip yang mempunyai luas luaran 6.5 m<sup>2</sup>. Satu cecair penyejuk yang mengalir pada 4,000 kg/h dan 35°C digunakan. Paip dalam mempunyai diameter dalaman 3.5 cm dan ketebalan 0.36 cm. Paip luar mempunyai diameter dalaman 5.25 cm.
- (a) Jika aliran adalah aruslawan, apakah suhu keluar untuk cecair penyejuk, LMTD, dan pekali pemindahan haba keseluruhan?
  - (b) Apakah nilai LMTD dan pekali pemindahan haba keseluruhan jika aliran ialah selari?
  - (c) Lukiskan profil suhu untuk kedua-dua aliran aruslawan dan selari. Muatan haba untuk cecair organik ialah 2.280 kJ/kg.°C dan yang untuk cecair penyejuk ialah 1.841 kJ/kg.°C.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

(100 markah)